

Evidencia geoquímica y geocronológica del Batolito de Pataz entre los paralelos 8°10'S - 8°17'S

Geochemical and geochronological evidence of the Pataz Batholith between parallels 8°10'S - 8°17'S

Willy López Mogrovejo^{1,a}, José Andrés Yparraguirre Calderón^{1,b}, Jaime César Mayorga Rojas^{1,c}

Recibido: 19/10/2022 - Aprobado: 03/11/2022 – Publicado: 31/12/2022

RESUMEN

El Batolito de Pataz del Carbonífero (Missisipiano), datado entre los 329 – 347 Ma (Haeberlin et al., 2004), tiene aproximadamente 160 km de largo (N30°O) y un ancho de 2.5 a 5 Km actualmente reconocidos. El intrusivo está constituido por más de una facies plutónica; una facies de granito – granodiorita y otra facies de tonalita - diorita, siendo la primera la más favorable para el emplazamiento y desarrollo de las vetas del tipo orogénico con contenido aurífero. La zona de estudio se emplaza entre los paralelos 8°10'S a 8°17'S, entre las localidades de Llacubamba y Tayabamba de la provincia de Pataz, Perú, los estudios realizados a los intrusivos aflorando en las inmediaciones de la localidad de Tayabamba habrían mostrado una similitud petrológica y geoquímica al Batolito de Pataz, la afinidad de todas las muestras hacia granitos de arco volcánico, así como una similitud en el ratio SiO₂ vs Sm/Yb, hace presumir una posible coetaneidad de los pulsos cristalinos (Mantle & Collins, 2008), esto ha sido corroborado con los resultados geocronológicos U-Pb obtenidos, los cuales colocan a los intrusivos de la zona de estudio entre los 333 – 335 Ma, afirmando con esto la continuidad del Batolito de Pataz hacia el Sur.

Palabras claves: Batolito, facie, orogénico, petrología, geoquímica, coetaneidad, geocronología.

ABSTRACT

The Carboniferous (Mississippian) Pataz Batholith, dated between 329 - 347 Ma (Haeberlin et al., 2004) is about 160 km long (N30°W), 2.5 to 5 km wide currently recognized. The intrusive is constituted by more than one plutonic facies: one facies of granite - granodiorite and another facies of tonalite-diorite, being the first one the most favorable for the emplacement and development of orogenic veins with gold content. The study area is located between parallels 8°10'S to 8°17'S, nearby the towns of Llacubamba and Tayabamba in the province of Pataz, Peru, studies carried out on the intrusives outcropping in the vicinity of the town of Tayabamba would have shown a petrological and geochemical affinity to the Pataz Batholith, the affinity of all samples towards volcanic arc granites, as a SiO₂ vs Sm/Yb ratio affinity presumes a possible coetaneity of the crystalline pulses (Mantle & Collins, 2008) has been corroborated with the U-Pb geochronological results obtained, which place the intrusives of the study area between 333 - 335 Ma, affirming the continuity of the Pataz Batholith to the south.

Keywords: batholith, facies, orogenic, petrology, geochemistry, coetaneity, geochronology.

1 Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Unidad de Posgrado. Lima, Perú

a Autor para correspondencia: willy.lopez@unmsm.edu.pe – ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1613-1350>

b E-mail: yparraguirrec@unmsm.edu.pe – ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8541-790X>

c E-mail: jaimemayorga@unmsm.edu.pe – ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8423-3343>

I. INTRODUCCIÓN

El interés geoeconómico que posee el Batolito de Pataz en el norte peruano, y su correcta identificación hacia la zona sur entre los paralelos 8°10'S a 8°17'S, en las inmediaciones del poblado de Tayabamba, hace necesaria una adecuada caracterización de los intrusivos que afloran en este sector (Figura 1), Las condiciones petrológicas y geoquímicas de las muestras intrusivas tomadas en el presente estudio, caracterizadas como granodioritas y monzodioritas son semejantes a las muestras tomadas en los alrededores del poblado de Llacuabamba (Haeblerlin et al., 2004), donde se viene explotando vetas auríferas dentro del conocido Batolito de Pataz, es por esto que una comparación geocronológica es necesaria para poder concluir debidamente la continuidad del Batolito de Pataz hacia los paralelos 8°10'S a 8°17'S, donde anteriormente no se han conducido trabajos de exploración o de explotación mayores.

II. MÉTODOS

La metodología empleada para la realización del presente estudio es la siguiente.

2.1. Toma de muestras

La compilación de un total de 06 muestras superficiales tipo rock chip, tomadas en los afloramientos de roca intrusiva entre los paralelos 8°10'S – 8°17'S, cercano al poblado de Tayabamba (RT-02, RT-03, RT-04, RT-05, RT-11 y RT17) y, un total de 08 muestras de intrusivo, provenientes de afloramientos superficiales aledaños al poblado de Llacuabamba (50468, 50469, 50470,50471,50472,50473,50475 y 51061).

2.2. Análisis de laboratorio químico

Para todas las muestras tomadas, se realizó el análisis de óxidos mayores por fusión de borato de litio y análisis por

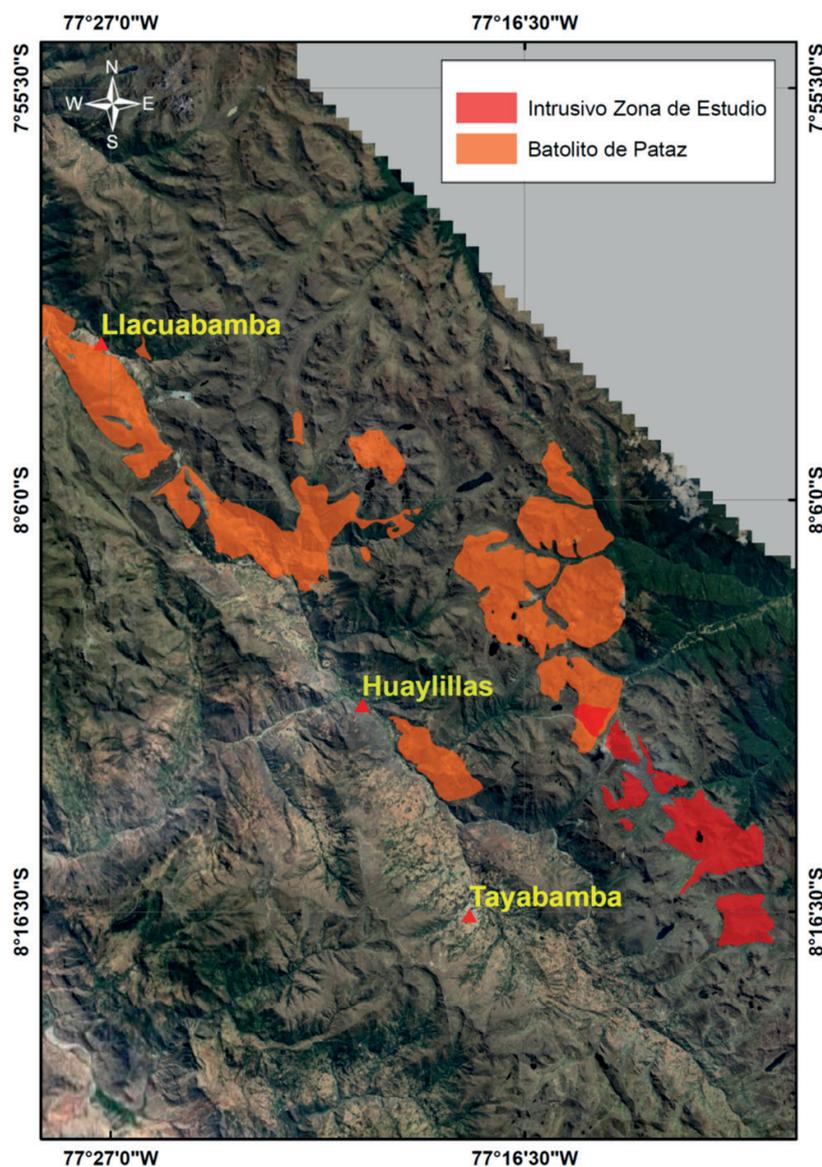


Figura 1. Ubicación general de afloramientos intrusivos en la zona de estudio.

ICP-AES (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , Cr_2O_3 , TiO_2 , MnO , P_2O_5 , SrO , BaO), análisis de elementos por fusión con borato de litio y análisis por ICP-MS (Ba, Ce, Cr, Cs, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Ge, Hf, Ho, La, Lu, Nb, Nd, Pr, Rb, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zr), análisis de metales base por digestión de 4 ácidos (Cd, Co, Cu, Li, Mo, Ni, Pb, Sc, Zn), análisis de elementos por digestión de agua regia y análisis por ICP-MS (As, Bi, Hg, In, Re, Sb, Se, Te, Tl).

2.3. Petrología

Las 06 muestras superficiales tomadas entre los paralelos $8^\circ 10'S$ a $8^\circ 17'S$ antes mencionadas, han sido estudiadas petrográficamente a través de la obtención de sección delgada (petrografía), identificando minerales no metálicos presentes, tamaños, porcentajes de cada uno de ellos, texturas, etc., con la finalidad de lograr una debida clasificación de la roca y alteraciones hidrotermales presentes (FA Ingenieros S.A.C., 2016).

2.4. Geocronología

Un total de 03 muestras tomadas superficialmente, en las inmediaciones del poblado de Tayabamba (RT-04, RT-04 y RT-11), fueron enviadas a los laboratorios de la Memorial University of Newfoundland (MUN) para estudios geocronológicos, el mismo se realizó mediante la medición del decaimiento U-Pb, usando un sistema de ablación laser GeoLas 193nm acoplado a un colector único Thermo-Finnigan Element 2, de doble enfoque, sector magnético, espectrómetro de masas de plasma acoplado inductivamente (ICPMS), el tamaño de punto laser usado fue de 30 mm a una velocidad de repetición de laser de 5 Hz y una potencia de 4 julios (Marillo-Sialer et al., 2016)

El proceso de las muestras se inicia con la trituración y molienda a malla <250 micrones, luego se procede a realizar la separación del contenido de magnetita con un separador mecánico (imán), se toman 250 gramos de muestra para la datación y el restante es archivado para un uso futuro; las muestras son puestas en un embudo de decantación y sumergidas en bromoformo, el bromoformo tiene una densidad de 2.85 g/cm^3 y permite

la separación de minerales con densidades menores a 2.85 g/cm^3 , minerales incluyendo el cuarzo, feldespatos, calcita, zeolitas y fragmentos líticos tienden a flotar en el bromoformo, concentrando en el fondo del embudo de decantación solo los minerales con densidades $>2.85 \text{ g/cm}^3$, luego de esto el material más denso es lavado con acetona y puesto a secar. La muestra resultante es puesta nuevamente en el embudo de decantación y sumergidas en yoduro de metileno, este tiene una densidad de 3.3 g/cm^3 y al igual que el bromoformo hace que minerales como el apatito, biotita y otros minerales comunes floten, concentrando cristales de zircón a la base. Es en este proceso donde normalmente cristales de minerales como la pirita y chalcopirita con densidades $>3.3 \text{ g/cm}^3$ son decantados, dificultándose el proceso de separación de los cristales de zircón, para este caso la muestra es introducida al horno a 900°C por un periodo de 36 horas, convirtiendo la pirita en magnetita por oxidación, removiendo luego la magnetita con un imán separador. Una vez separados los zircons (Figura 2), se procede a tomar al microscopio cada uno de estos y prepararlos para sección pulida en un disco de epoxi, siendo pulido posteriormente para exhibir los cristales completos de zircón; seguidamente, usando un microscopio de cátodo-luminiscencia (CL) se toman las imágenes de los zircons hallados, numerando a cada uno de ellos para su posterior estudio, este microscopio permite revelar el zoneamiento interno y estructuras como inclusiones fluidas en cada uno de los cristales. Una vez identificados los cristales de zircón, y habiendo tomado la foto de cada uno de ellos en el microscopio CL, se procede a analizar la espectrometría de masas por plasma acoplado inductivamente por ablación de laser (LA-ICPMS), el punto de laser mide 30 micrómetros con una repetición de laser de 5 Hz y una potencia de 4 Joules. El láser se acciona generando "agujeros" en los cristales de zircón, donde es medido el tiempo de decaimiento de los isótopos de U y Pb.

Los datos son posteriormente analizados en el software IgorPro, evidenciando los elipsoides (edades) de cada uno de los zircons analizados (Figura 3), mientras que las edades U-Pb y errores se calculan con el software IsoPlot (Figura 4).



Figura 2. Imagen de zircons tomados con el uso de un microscopio CL, SAD-04.

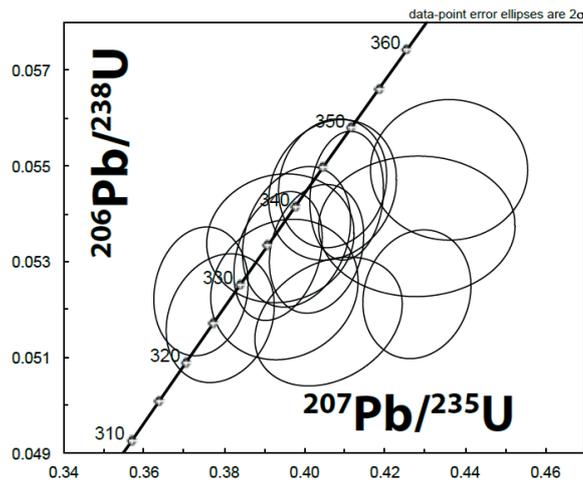


Figura 3. Elipsoides de edades de zircons analizados, SAD-04.

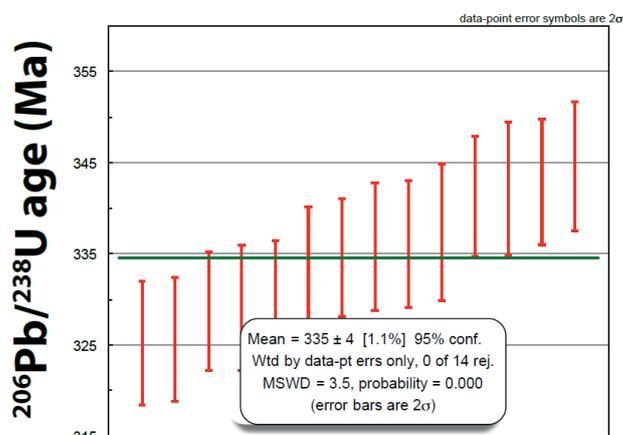


Figura 4. Cálculo de edades con software IsoPlot SAD-04.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Marco Geológico

La zona de estudio se sitúa en la margen Este de la Cordillera Oriental (zona de arco Oriental), en las inmediaciones del distrito de Tayabamba, como basamento de estas secuencias se aprecia al Grupo Marañón (NP-cm) de edad Neoproterozoica (Wilson et al., 1995), se ha reconocido regionalmente filitas, esquistos y meta-volcánicos aflorando en los poblados de Tomac, Huanapampa y al Este de Uchupampa, así mismo se aprecian afloramientos al SW del poblado de Huanash.

Hacia el devónico, y producto de la trasgresión marina que dominó la Cordillera Oriental hasta fines del Paleozoico, con presencia de vulcanismo como consecuencia de subsidencia de la cuenca en un entorno distensivo (Robert et al., 2002), se origina la Formación Tres Lagunas (Carrasco et al., 2006; MINAM, 2018; Vidal et al., 1995), esta formación ha sido evidenciada sobre los Cerros El Bronce y Potrero, extendiéndose al NW de los mismos, se trata de basaltos piroxénicos presentando estructura almohadillada producto de un posible Rift intracontinental abortado. Posteriormente, una emersión de la cuenca genera subsidencias emplazándose el Grupo Ambo (Misissipiano), conformado por una serie de

intercalaciones de areniscas, lutitas y conglomerados, se emplazan en el borde NW de la zona de estudio; la subsidencia antes referida generó fallamientos normales produciéndose vulcanismo explosivo, originando así rocas de la formación Lavasen, estas se componen en su mayoría por bancos piroclásticos de composición dacitaríolita, tobas andesíticas y flujos lávicos con almohadillas a la base, se emplazan paralelas a la falla Huinchos (NW-SE), aflorando en las localidades de Uchupampa, Cajas, Secceragra y San Pedro (Wilson et al., 1995).

Como consecuencia de la tectónica Tardihercínica del Pérmico se produce un cambio de fase, marina – continental, iniciando el depósito de tierras rojas del Grupo Mítu (Wilson et al., 1995) esta formación se caracteriza por estar integrada por un conjunto de areniscas y volcánicos de coloración rojiza, aflora al SW de la zona de estudio, desde el poblado de Cajas, incluyendo el poblado de Tayabamba. Durante el Jurásico, y en un ambiente regresivo en la cuenca oriental, inicia la depositación de material calcáreo, emplazándose el Grupo Pucará (Jurásico Inferior), litológicamente está compuesto por calizas en bancos potentes con escasas intercalaciones de lutitas y areniscas calcáreas, afloran puntualmente al NW de la zona de estudio, cercanos al poblado de El Alizar.

Hacia el cretácico, movimientos en bloque producto de la tectónica Hercínica se plasman en la depositación del grupo Goyllarisquiza (Cretácico Inferior), se trata de facies de plataforma con presencia de areniscas intercaladas con lutitas y margas, aflora al SW de la zona de estudio, controlado por la Falla Cajas al SE del poblado de Tayabamba (Wilson et al., 1995). Seguidamente, la depositación de fases molásicas de la formación Chota (Cretácico Superior) depositan areniscas y arcillitas de coloración rojiza, esta formación se expone en contacto con el Grupo Mitu, siendo controladas por la falla Icuero (sinestral inversa). La presencia de Cuaternarios aluviales, así como bofedales rellenando quebradas y geoformas

negativas, completan la secuencia litoestratigráfica de la zona de estudio.

Los pulsos intrusivos de característica granodiorítica a monzodiorítica se habrían emplazado durante el Missisipiano, entre 333 a 335 M.A., estos afloran con un trend NW-SE, controlado por las fallas Uchus y Totorita (Marillo-Sialer et al., 2016), como una presunta respuesta a los grabens formados durante la apertura del rift devónico, regionalmente se aprecian intrusivos pertenecientes al conocido Batolito de Pataz, el cual tendría edades entre los 329 -347 M.A. (Haeberlin et al., 2004), (Figura 5).

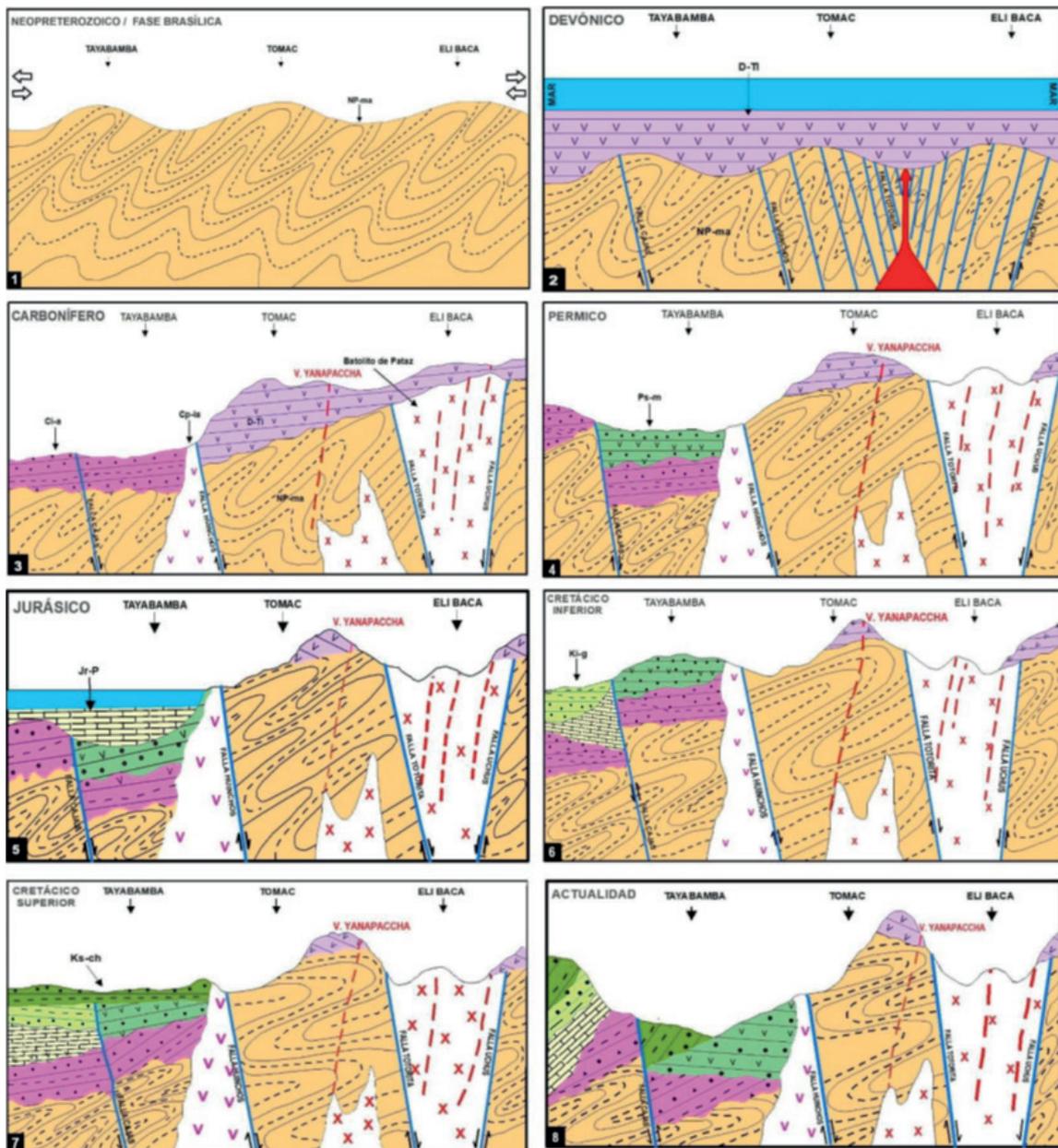


Figura 5. Reconstrucción de la Geología Histórica; 1.- Neoproterozoico, depositación y plegamiento del Complejo Marañón; 2.- Devónico, emplazamiento de los Volcánicos Tres Lagunas; 3.- Carbonífero, Intrusión del Batolito de Pataz y depositación del Grupo Ambo; 4.- Pérmico, Depositación del Grupo Mitu; 5.- Jurásico, depositación de las calizas del Pucará; 6.- Cretácico Inferior, Depositación del grupo Goyllarisquiza; 7.- Emplazamiento de tierras rojas de la Formación Chota; 8.- Procesos de erosión hasta la conformación de la topografía actual.

3.2. Petrología

Se tomó un total de seis muestras de mano en la zona de estudio (Tabla 1), correspondiente a intrusivos para estudios de sección delgada (FA Ingenieros S.A.C., 2016), las muestras fueron catalogadas como rocas en los rangos de Sienita a Granito, predominando esta última.

Los granitos (Figura 6), se encuentran formados principalmente por cristales de plagioclasas que son reemplazadas intensamente por sericita y moderadamente

por minerales arcillosos, seguido de feldespatos potásicos y por último cuarzo. Los minerales ferromagnesianos son reemplazados intensamente por cloritas y óxidos de hierro. Como mineral accesorio se encuentra a la epidota y la mineralización metálica se halla dispersa por toda la muestra reemplazada por óxidos de hierro a través de microfracturas.

La granodiorita (Figura 7), se encuentra formada principalmente por cristales de plagioclasas que son

Tabla 1. Petrominerafía y geocronología de muestras tomadas.

ID		Petrografía
RT-02		Granito
RE-03		Granito-sienogranito
RE-04	SAD-01	Granodiorita
RE-05	SAD-02	Microgranito-sienogranito
RE-11	SAD-04	Cuarzo monzodiorita
RE-17		Cuarzo sienita

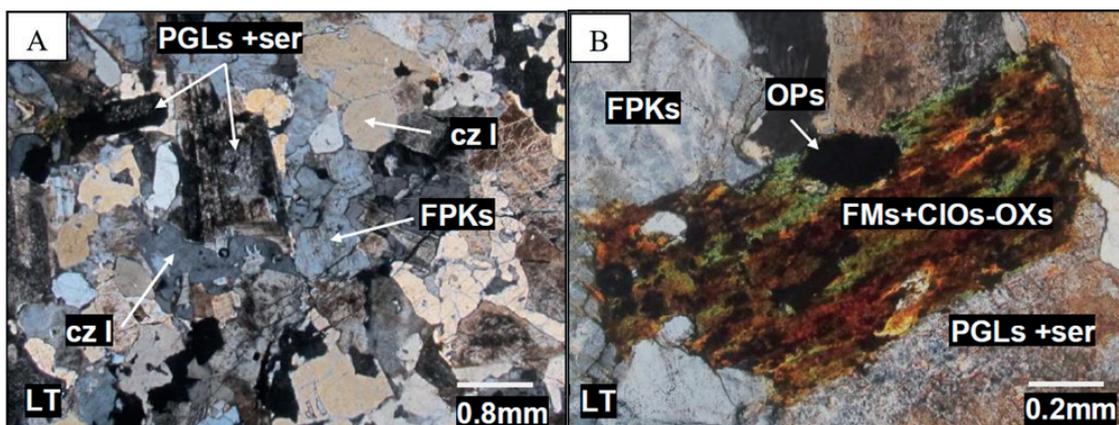


Figura 6. A. Textura granuda hipidiomorfa compuesta por cristales de plagioclasas (PGLs), feldespato potásico (FPKs) y cuarzo (cz); B. Molde de mineral ferromagnesiano (FMs) reemplazado por agregados de cloritas (CLOs) y óxidos de hierro (OXs).

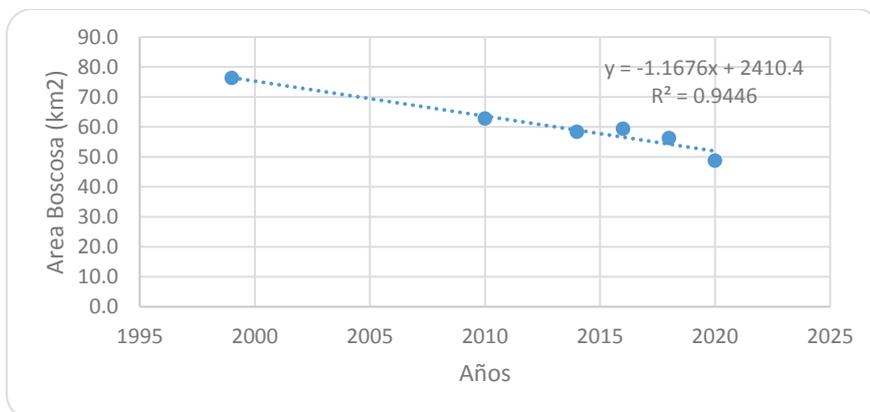


Figura 7. A. Cristales de plagioclasas (PGLs), acompañado a cristal de cuarzo primario (cz I) y feldespato potásico (FPKs) de textura granuda hipidiomorfa; Agregados de cuarzo II y cloritas (cz II+CLOs) relleno de espacios intersticiales y reemplazando a los feldespatos potásicos (FPKs), B. Epidota (ep) asociados a carbonatos (CBs) y cloritas (CLOs).

reemplazadas intensamente por sericita y moderadamente por minerales arcillosos, seguido de feldespatos potásicos y por último cuarzo I. Los minerales ferromagnesianos son reemplazados intensamente por cloritas y carbonatos en menos medida. Presencia de agregados cristales de cuarzo II que reemplazan a los feldespatos potásicos y rellenan los espacios intersticiales de la muestra acompañado por cloritas, carbonatos y escasa epidota.

3.3. Geoquímica

Los estudios de geoquímica de elementos mayores y tierras raras conducidos, se desarrollaron para realizar comparativamente una inspección de las similitudes entre las rocas del Batolito de Patáz, aflorando en las cercanías del poblado de Llacubamba y aquellas tomadas en las inmediaciones del poblado de Tayabamba (8°10'S – 8°17'S).

3.3.1. Diagrama sílice vs. Alcalis total – TAS

El diagrama SiO₂ vs Na₂O+K₂O (Irvine & Baragar, 1971), indica que, la totalidad de las muestras tomadas en las cercanías del poblado de Tayabamba, así como las tomadas en afloramientos del Batolito de Patáz cercanos al poblado de Llacubamba muestran rocas félsicas con tendencia sub-alcalinas, de la serie calco-alcalina (Figura 8).

3.3.2. Diagrama de Pearce Y vs. Nb

El diagrama de Y vs Nb (Pearce, 1983) presenta que, aquellas muestras correspondientes al Batolito de Patáz tomadas en Llacubamba y aquellas provenientes de afloramientos cercanos al poblado de Tayabamba (Figura 9), se ubican dentro del campo de granitos de arco volcánico (asociados a procesos de subducción).

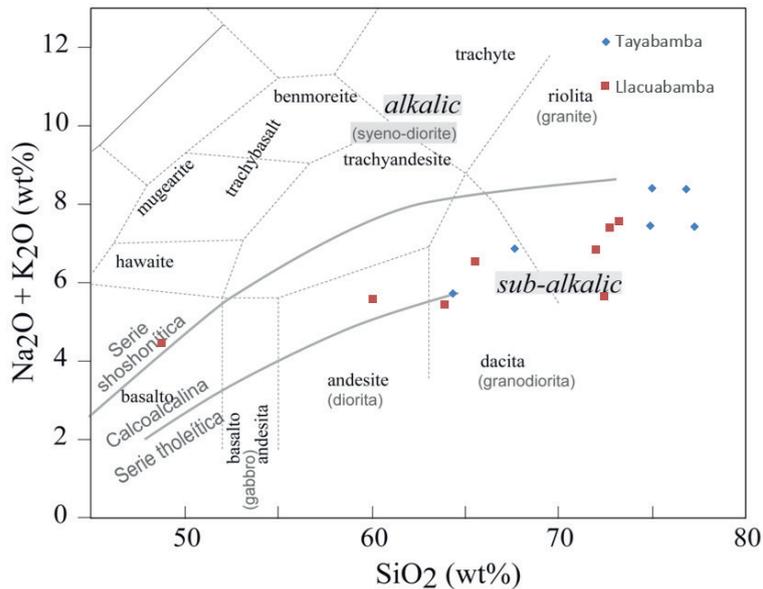


Figura 8. Diagrama TAS (Irvine & Baragar, 1971)

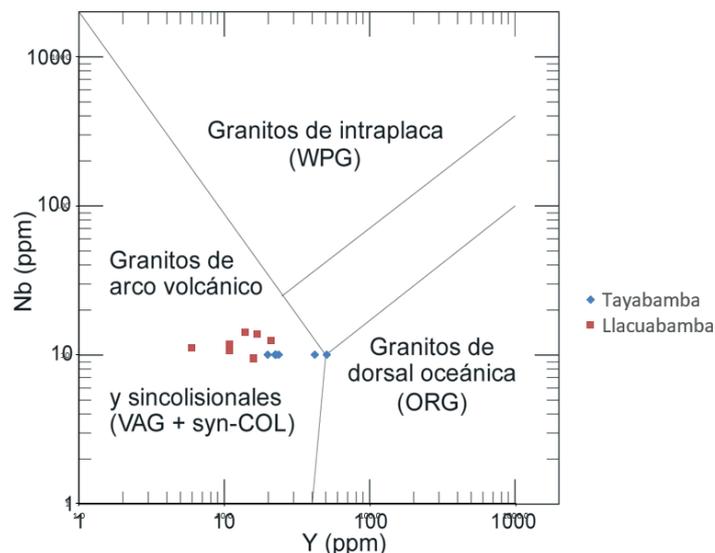


Figura 9. Diagrama Y vs. Nb (Pearce, 1983)

3.3.3. Profundidad de la fuente magmática SiO₂ vs Ce/Y

El diagrama bimodal que propone la relación Ce/Y vs SiO₂ para estimar la profundidad de las cámaras magmáticas donde se generaron los pulsos analizados (Mantle & Collins, 2008) para el caso de la zona de estudio, se aprecia que los intrusivos cercanos a la localidad de Tayabamba serían más superficiales (20-40 km), mientras que los intrusivos del Batolito de Patatz provenientes de zonas aledañas al poblado de Llacubamba se emplazan entre profundidades de 40-70 km (Figura 10).

3.3.4. Antigüedad de los magmas SiO₂ vs Sm/Yb

El contraste de SiO₂ vs. el ratio de Sm/Yb (Mantle & Collins, 2008), ayuda a determinar una posible similitud

cronológica a nivel de los Andes sudamericanos, para el caso de la zona de estudio, se aprecia que tanto las muestras de intrusivo tomadas en la zona de Tayabamba, como las muestras del Batolito de Patatz tomadas en las cercanías de Llacubamba son coetáneas, basadas en su índice Sm/Yb (Figura 11).

3.3.5. Diagrama de tierras raras normalizadas al condrito.

El diagrama Spider de tierras raras (REE) normalizado al condrito (Sun & McDonough, 1989) exhibe a las muestras de ambas zonas, tanto de la zona de Llacubamba como de la zona de Tayabamba (8°10'S a 8°17'S), enriquecidas en tierras raras ligeras (LREE) sobre tierras raras pesadas (HREE), asimismo evidencian una anomalía negativa de Eu

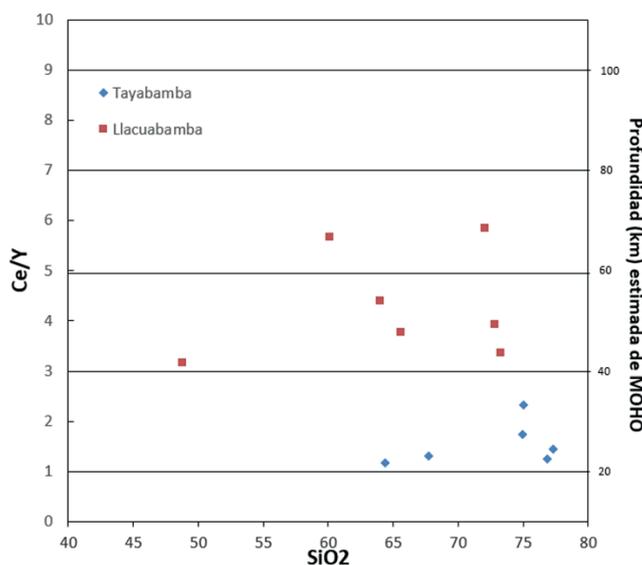


Figura 10. Diagrama de profundidad estimada (Mantle & Collins, 2008)

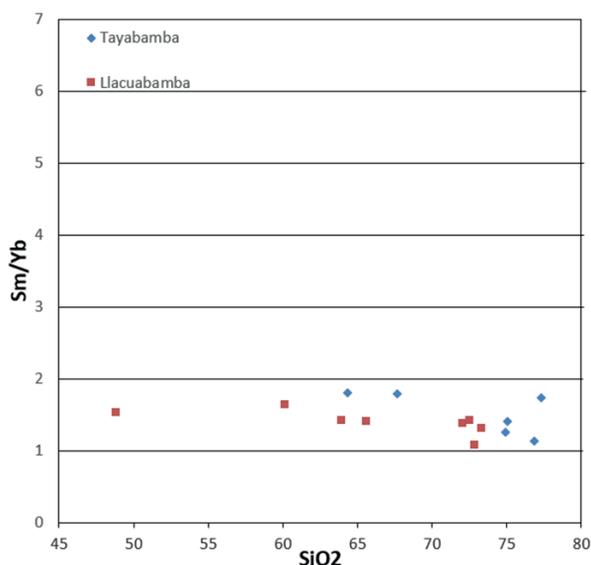


Figura 11. Diagrama de determinación de edad aproximada de las rocas (Mantle & Collins, 2008)

para todos los casos, lo que indica un intrusivo fraccionado (maduro) para los dos grupos, este comportamiento ha sido anteriormente evidenciado en estudios realizados de manera distrital (Voute et al., 2019), lo que corroboraría una similitud geoquímica de los cuerpos intrusivos estudiados (Figura 12).

3.4. Geocronología

Un total de 03 muestras (SAD-01, SAD-02 y SAD-04), fueron enviados a las instalaciones de MUN (Marillo-Sialer et al., 2016).

Los estudios de dataciones radiométricas por el método U-Pb en zircones, realizados en tres muestras de intrusivos dieron como resultado un rango de edad entre 333 ± 4 Ma a de 335 ± 6 Ma, asignándosele una edad Carbonífero - Missisipiano, correlacionándose directamente a la edad de emplazamiento del batolito de Pataz (Haerberlin et al., 2004).

IV. CONCLUSIONES

Las características petrológicas evidenciadas en las muestras analizadas muestran series que varían entre los granitos y monzodioritas, siendo esta variabilidad notoria también en el Batolito de Pataz, al poseer una serie de pulsos que varían en contenido de cuarzo y plagioclasa.

La lito-geoquímica, mediante diagramas bimodales, evidencian una clara afinidad entre las rocas aledañas a la localidad de Llacuabamba, y aquellas al poblado de Tayabamba, situándola dentro del marco de granitos de arco volcánico, esta tendencia podría estar relacionada al emplazamiento del Batolito de Pataz con el sistema Rift que generó los denominados volcánicos tres Lagunas, un análisis de los ratios de SiO_2 vs Ce/Y, hace notar que los intrusivos del Batolito de Pataz en la zona de Llacuabamba, en comparación con los intrusivos estudiados en las

inmediaciones del poblado de Tayabamba difieren en su profundidad con referencia al MOHO, siendo la primera mencionada más profunda (40-70 km) en referencia a los de la zona de estudio (20-40 km), este comportamiento podría llevar a controversia, debido a la posible coetaneidad evidenciada en el diagrama SiO_2 vs Sm/Yb entre muestras de ambas zonas, asimismo, el diagrama spider de REE, evidencia un enriquecimiento de LREE sobre HREE, sumado a una anomalía de Eu para ambos grupos de muestras.

La geocronología realizada en zircones mediante el método U-Pb, corroboró finalmente la coetaneidad de los intrusivos aledaños al poblado de Tayabamba, las cuales dieron edades entre los rangos de 333 – 335 Ma, contra las edades ya conocidas del Batolito de Pataz, con un rango entre los 329 – 347 Ma, situándose dentro del Carbonífero – Missisipiano, corroborando la continuidad del Batolito de Pataz hasta el paralelo $8^{\circ}17'$, es necesario poder evidenciar la presencia del Batolito de Pataz hacia el Sur de la zona del presente estudio, esto debido a la presencia de minería aurífera al SE del poblado de Tayabamba, sobre el paralelo $8^{\circ}20'$, realizando extracción aurífera dentro de un posible depósito orogénico.

V. REFERENCIAS

- Carrasco, S., Sánchez, A., & Galdos, J. (2006). Petrografía y geoquímica de las lavas almohadilladas de posible edad siluro-devoniana en la Cordillera oriental del Norte del Perú: Región de Pataz - Balsas. *XIII Congreso Peruano de Geología. Resúmenes Extendidos*. Sociedad Geológica Del Peru, 260–262. https://repositorio.ingemmet.gob.pe/bitstream/20.500.12544/4126/1/Carrasco-Petrografia_geoquimica_lavas-Pataz.pdf
- FA Ingenieros S.A.C. (2016). *Estudios petrográficos y mineralográficos*. <https://faingenieros.com/#!/-caracterizacion-mineralologica-2/>

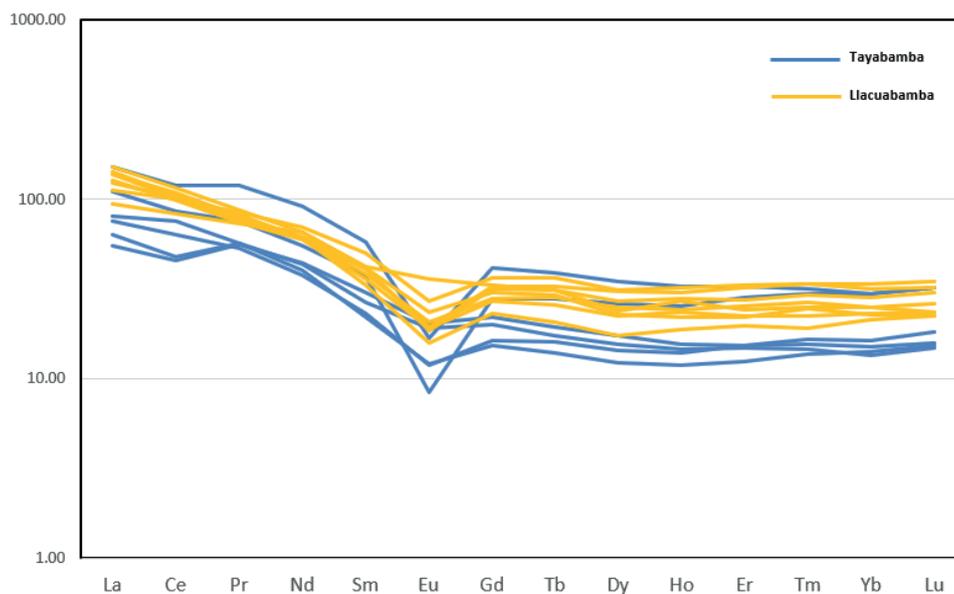


Figura 12. Diagrama Spider normalizado a la Condrita (Sun & McDonough, 1989)

- Haerberlin, Y., Moritz, R., Fontboté, L., & Cosca, M. (2004). Carboniferous Orogenic Gold Deposits at Pataz, Eastern Andean Cordillera, Peru: Geological and Structural Framework, Paragenesis, Alteration, and $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ Geochronology. *Economic Geology. GeoScienceWorld*, 99(1), 73–112. <https://doi.org/https://doi.org/10.2113/gsecongeo.99.1.73>
- Irvine, T. N., & Baragar, W. R. A. (1971). A Guide to the Chemical Classification of the Common Volcanic Rocks. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 8(5). <https://doi.org/https://doi.org/10.1139/e71-055>
- Pearce, J. (1983). Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margin. *Cardiff University*, 230–249. https://www.researchgate.net/publication/247434731_Role_of_the_sub-continental_lithosphere_in_magma_genesis_at_active_continental_margin
- Mantle, G. W., & Collins, W. J. (2008). Quantifying crustal thickness variations in evolving orogens: Correlation between arc basalt composition and Moho depth. *GeoScienceWorld. Geology*, 36(1), 87–90. <https://doi.org/https://doi.org/10.1130/G24095A.1>
- Marillo-Sialer, E., Woodhead, J., Hanchar, J. M., Reddy, S. M., Greig, A., Hergt, J., & Kohn, B. (2016). An investigation of the laser-induced zircon “matrix effect.” In *Department of Earth Sciences, Memorial University of Newfoundland*. <https://espace.curtin.edu.au/bitstream/handle/20.500.11937/9203/241077.pdf?sequence=2>
- MINAM. (2018). *Estudio Ambiental Preliminar (modificado) de procesos de la U.E.A. Retamas, presentado por Minera Aurífera Retamas S.A.* <https://www.senace.gob.pe/verificacion>
- Robert, E., Jaillard, E., Peybernes, B., & Bulot, L. (2002). *La transgresión albiana en la Cuenca Andina (Perú Central - Ecuador): modelo general y diacronismo de los depósitos marinos*. Bibliovirtual. Sociedad Geológica Del Perú. Código: 094-03. <https://www.sgp.org.pe/category/bibliovirtual/?result=4388>
- Sun, S. -s., & McDonough, W. F. (1989). Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London, Special Publications*, 42, 313–345. <https://doi.org/https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>
- Vidal, C., Paredes, J., Tosdal, R. M., & Macfarlane, A. W. (1995). Geología y Metalogenia del Distrito Minero Parcoy, Provincia Aurífera de Pataz, La Libertad. In Sociedad Geológica del Perú (Ed.), *Sociedad Geológica del Perú. Bibliovirtual* (Vols. VJ3-21). <https://www.sgp.org.pe/category/bibliovirtual/?result=6781>
- Voute, F., Hagemann, S. G., Kemp, A. I. S., Thebaud, N., Evans, N. J., & Villanes, C. (2019). Protracted evolution of the Marañón Valley Au Belt magmatic complex in the Peruvian Andes using zircon oxygen isotopes, Lu-Hf and U-Pb analyses. *Lithos*, 338–339, 34–57. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lithos.2019.03.036>
- Wilson, J. J., Reyes Rivera, L., & Garayar S., J. (1995). Geología de los cuadrángulos de Pallasca, Tayabamba, Corongo, Pomabamba, Carhuaz y Huari. Hojas: 17-h, 17-i, 18-h, 18-i, 19-h, y 19-i – [Boletín A 60]. *Boletín Ingemmet. Serie A: Carta Geológica Nacional. Repositorio Institucional Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico*, 1–79. <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/182>

Contribución de autoría

Conceptualización, Análisis formal, Recursos, Supervisión: Willy López Mogrovejo

Curación de datos, Software: Willy López Mogrovejo, José Andrés Yparraqure Calderón

Adquisición de fondos, Metodología, Administración del proyecto, Visualización, Redacción - borrador original, Redacción - revisión y edición: Willy López Mogrovejo, Jaime César Mayorga Rojas

Investigación, Validación: Willy López Mogrovejo, José Andrés Yparraqure Calderón, Jaime César Mayorga Rojas